

主编 廖丽平 丁雅萍 孙 谦

建筑施工用电



西南交通大学出版社

建筑施工用电

主编 廖丽平 丁雅萍 孙 谦

主审 肖 川

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

建筑施工用电 / 廖丽平, 丁雅萍, 孙谦主编. 一成都: 西南交通大学出版社, 2020.10
ISBN 978-7-5643-7816-5

I. ①建… II. ①廖… ②丁… ③孙… III. ①建筑施工-用电管理-高等职业教育-教材 IV. ①TU731.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 210308 号

Jianzhu Shigong Yongdian

建筑施工用电

主编 廖丽平 丁雅萍 孙 谦

责任编辑 张少华

封面设计 原谋书装

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 16.5

字数 341 千

版次 2020 年 10 月第 1 版

印次 2020 年 10 月第 1 次

定价 49.80 元

书号 ISBN 978-7-5643-7816-5

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562



前言

PREFACE

现代学徒制是深化产教融合、对学生以技能培养为主的现代人才培养模式。本书根据国务院《关于加快发展现代职业教育的决定》和教育部《关于开展现代学徒制试点工作的意见》的精神，以工程机械运用技术专业现代学徒制试点建设“校企联合，编著基于工作任务的校本教材”的建设任务为指导而编写的。

本书从建筑工程现场实际出发，紧扣《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ 46—2005)，针对建筑施工临时用电的典型作业，采用项目化教学，满足工程机械运用类专业学生在建筑施工临时用电方面的知识需求。书中内容主要涉及施工现场临时用电密切相关的负荷计算、配电系统、临时用电施工组织设计、施工现场常用机械安全用电及防护，以增强学生临时用电施工组织设计和临时用电安全管理的能力。

当今新技术、新规范更新速度较快，传统教材时效性不足。本书采用活页式结构，教师可以自由插入新知识，与时俱进，实现个性化教学。同时，本书编排时，以任务为载体，以活页的形式将任务贯穿起来，强调在理论知识基础上的实践和应用，注重培养学生较强的实践能力。

本书由四川建筑职业技术学院廖丽平、丁雅萍、孙谦担任主编，肖川担任主审。四汇建设集团有限公司何云辉提供了教材相关的施工技术资料。其中项目一、项目二由丁雅萍编写，项目三、项目六由廖丽平编写，项目四由申永强、唐子雷共同编写，项目五由刘勇彪编写，项目七由孙谦、赵坤阳共同编写，项目八由刘婷编写，全书由廖丽平统稿。

由于编写人员知识水平的局限性，书中疏漏与不足之处在所难免，敬请广大读者不吝赐教，提出宝贵意见。

编者

2020年9月



目录

CONTENTS

项目一 建筑电气基础知识	001
任务一 交流电路	001
任务二 常用低压电气设备	015
项目二 临时用电配电系统	039
任务一 临时用电配电系统简介	039
任务二 TN-S 接零保护系统	042
任务三 接地与接地电阻	046
项目三 变压器及配电室设计	053
任务一 电力负荷计算	053
任务二 变压器的选择	060
任务三 配电室设计	067
任务四 自备发电机组	070
项目四 施工现场配电线路及配电装置设计	077
任务一 配电线路设计	077
任务二 低压配电线路导线选择	091
任务三 配电箱及开关箱设计	099
项目五 安全用电及防护	128
任务一 外电防护	128
任务二 防雷及防火	131
任务三 临时用电安全检查要点	142
项目六 施工现场临时用电管理	149
任务一 临时用电组织设计	149
任务二 临时用电管理	166

项目七 施工现场常用设备·····	180
任务一 电动机·····	180
任务二 电焊机·····	187
任务三 混凝土机械·····	198
任务四 起重机械·····	215
项目八 触电防护与急救·····	237
任务一 常用电器安全工具·····	237
任务二 电力安全标志·····	244
任务三 触电急救·····	248
参考文献·····	257

项目一

建筑电气基础知识

任务一 交流电路

知识目标

- 了解发电、输电和配电的基本知识。
- 理解三相交流电的产生及其应用。
- 了解星形连接电流、电压的关系及中性线的作用。

能力目标

- 能理解正弦交流电的物理量含义。
- 能够利用有效值进行有关交流电功率计算。

任务导入

现代大型的火力发电厂通常建在能源基地或交通便利的郊区，而水电站、风电站等则只能建立在资源分布点，这些发电厂发出的电能通过输电线路向负荷中心输送。发电厂、输电线路、电站及配电、用电设备构成了电力系统（见图 1.1）。在发电和输电过程中，交流电比直流电的使用要方便很多，损耗更小，成本也低廉很多；配电时，交流电器的灭弧能力强于直流电器；在用电方面，最典型的交流鼠笼式异步电动机了，相对直流电机，它价格低廉、工作可靠、性能稳定、维护简单方便。因此多数情况下，在生产和生活中使用的都是交流电，即使需要直流电，也往往由交流电转换而成。

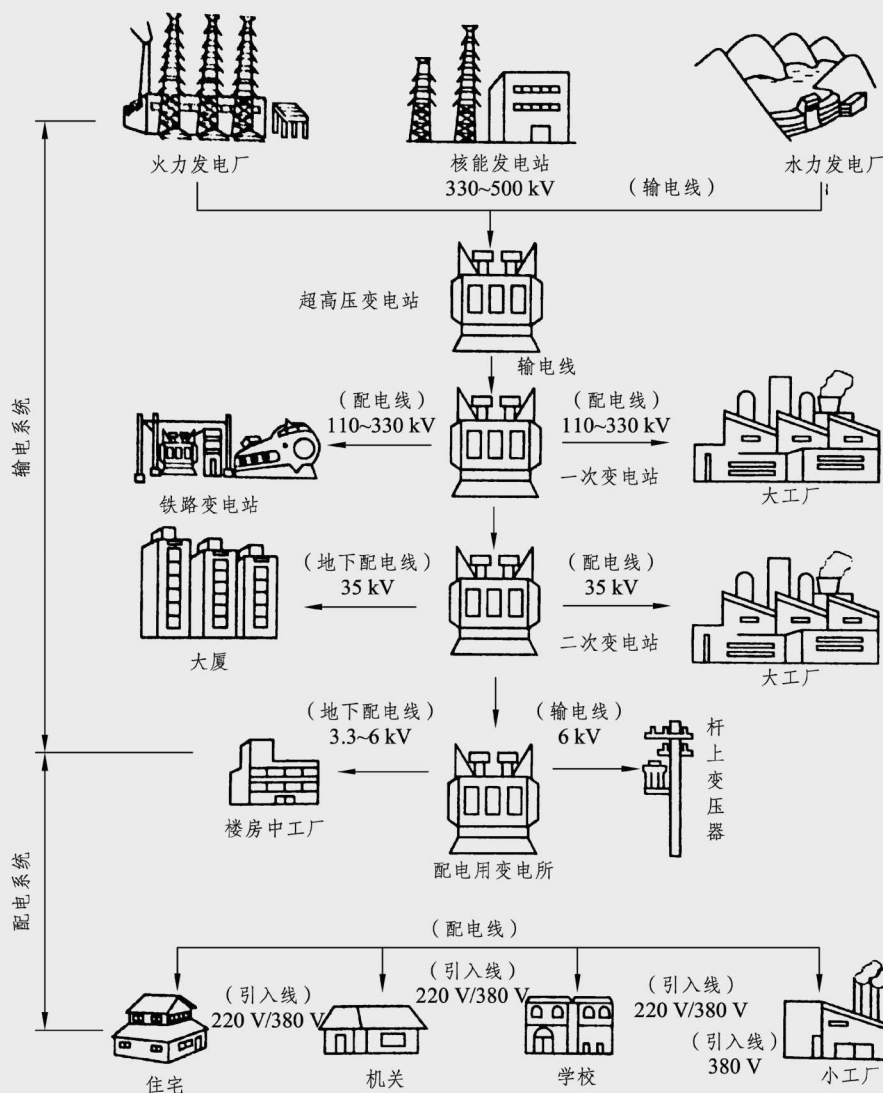


图 1.1 电力系统构成

学习指引

为了更好地了解临时用电配电系统的电力性质，我们需要掌握正弦交流电的特点、三要素、电路表示法以及三相交流电的使用与计算。

知识链接

一、正弦交流电的产生

1. 正弦交流电的特点

所谓交流电是指电流（及电压、电动势）的大小和方向随时间的变化而变化

(见图 1.2)。交变电流、交变电压和交变电动势统称为交流电。通常将交流电分为正弦交流电和非正弦交流电两大类。正弦交流电的交流量随时间按正弦规律变化。

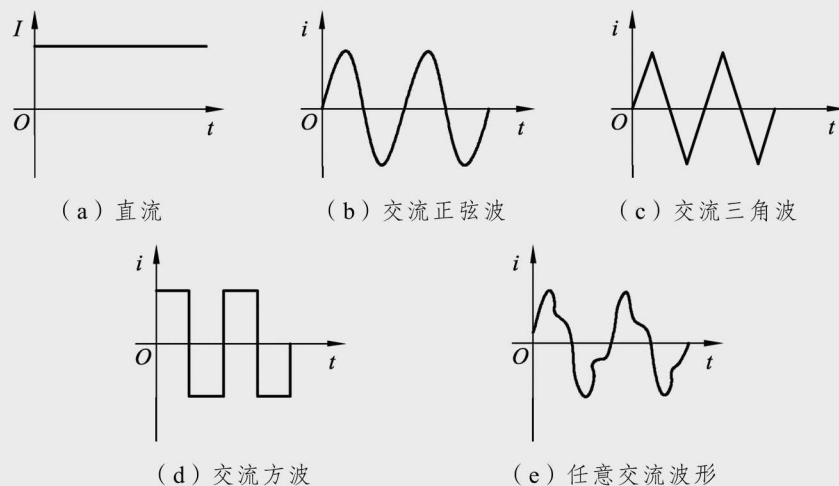


图 1.2 直流电和交流电波形

正弦交流电（如无特别说明都简称交流电）的特点如下：

(1) 变化的瞬时性。

正弦交流电的大小和方向时时刻刻都在变化。

(2) 变化的周期性。

正弦交流电每隔一定时间又做重复的变化。

(3) 变化的规律性。

2. 正弦交流电的产生

正弦交流电是随着时间按正弦规律变化的。

正弦交流电在工农业生产以及日常生活中应用广泛，是由于它具有便于远距离传输和分配，交流发电机结构简单、运行可靠、维修方便、节省材料、具有更低的电磁干扰等优点。

正弦交流电是由交流发电机产生的，图 1.3 所示是最简单的交流发电机示意图。它由定子和转子组成。定子有 N, S 两个固定磁极。转子是一个可以转动的钢质圆柱体，其上紧绕着一匝导线。导线两端分别接到两个相互绝缘的铜环上，铜环与连接外电路的电刷相接触。

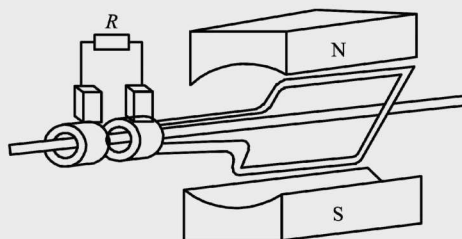


图 1.3 最简单的交流发电机示意图

当用原动机（如水轮机或汽轮机）拖动电枢转动时，由于运动导线切割磁感应线而在线圈中产生感应电动势。为了得到正弦波形的感应电动势，应采用特定形式的磁极，使磁极与电枢之间的空隙中的磁感应强度按下列规律分布：

- (1) 磁感应线垂直于电枢表面。
- (2) 磁感应强度 B 在电枢表面按正弦规律分布。

二、正弦交流电的三要素

1. 周期、频率、角频率

从图 1.2 (b) 所示的正弦交流电流波形图可以看出，电流从零开始随时间延长而增至最大值，然后逐渐减到零；以后由零开始反向增至最大值，然后再回到零。这样，交流电流就变化一次。交流电就按照这样的规律周而复始地变化，变化一次叫作一周。交流电变化一周所需要的时间叫作周期，用字母 T 表示，单位是秒 (s)，较小的单位有毫秒 (ms) 和微秒 (μs)。

周期的长短表示交流电变化的快慢，周期越小，说明交流电变化一周所需的时间越短，交流电的变化越快；反之，交流电的变化越慢。

频率是指在 1 s 内交流电变化的次数，用字母 f 表示，单位为赫兹，简称赫，用 Hz 表示。当频率很高时，可以使用千赫 (kHz)、兆赫 (MHz)、吉赫 (GHz) 等单位。

频率和周期一样，是反映交流电变化快慢的物理量。它们之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{1}{T} \\ T &= \frac{1}{f} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

我国农业生产及日常生活中使用的交流电标准频率为 50 Hz。通常把 50 Hz 的交流电称为工频交流电。

交流电变化的快慢除了用周期和频率表示外，还可以用角频率表示。所谓角频率就是交流电每秒变化的角度，用字母 ω 表示，单位是弧度/秒 (rad/s)。

周期、频率和角频率的关系是

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1.2)$$

2. 瞬时值、最大值、有效值

正弦交流电（简称交流电）的电动势、电压、电流，在任意瞬间的数值叫交流电的瞬时值，用小写字母 e , u , i 表示。

瞬时值中最大的值称为最大值。最大值也称为振幅或峰值。在波形图中，曲

线的最高点对应的纵轴值即表示最大值。用 E_m 、 U_m 、 I_m 分别表示电动势、电压、电流的最大值。它们之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} e &= E_m \sin \omega t \\ u &= U_m \sin \omega t \\ i &= I_m \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

由此可知，交流电的大小和方向是随时间变化的，瞬时值在零值与最大值之间变化，没有固定的数值。因此，不能随意用一个瞬时值来反映交流电的做功能力。如果选用最大值，就夸大了交流电的做功能力，因为交流电的瞬时值在绝大部分时间内都比最大值要小。这就需要选用一个数值，能等效地反映交流电做功的能力。为此，引入了交流电的有效值这一概念。

正弦交流电的有效值是这样定义的：如果一个交流电通过一个电阻，在一个周期内所产生的热量，和某一直流电流在相同时间内通过同一电阻产生的热量相等，那么，这个直流电的电流值就称为交流电的有效值。正弦交流电的电动势、电压、电流的有效值分别用字母 E 、 U 、 I 表示。通常所说的交流电的电动势、电压、电流的大小都是指它的有效值，交流电气设备铭牌上标注的额定值、交流电表所指示的数值也都是有效值。今后在谈到交流电的数值时，如无特殊注明，都是指有效值。

理论计算和实验测试都可以证明，它们之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m \\ U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m \\ I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

3. 相位、初相和相位差

如图 1.4 所示，两个相同的线圈固定在同一旋转轴上，它们相互垂直，以相同的角速度做逆时针旋转。在 AX 和 BY 线圈中产生的感应电动势分别为 e_1 和 e_2 ，如图 1.5 所示。

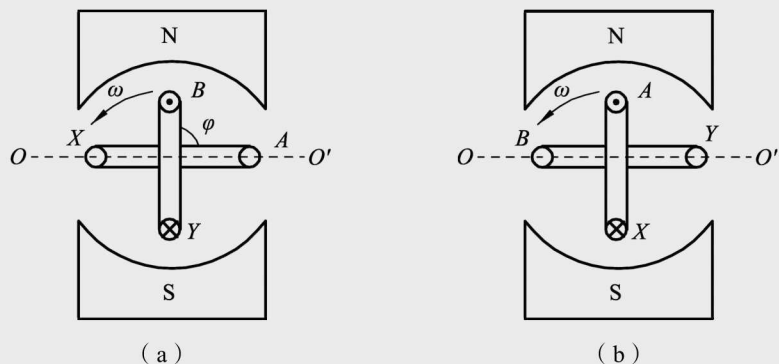


图 1.4 两个线圈中电动势变化情况

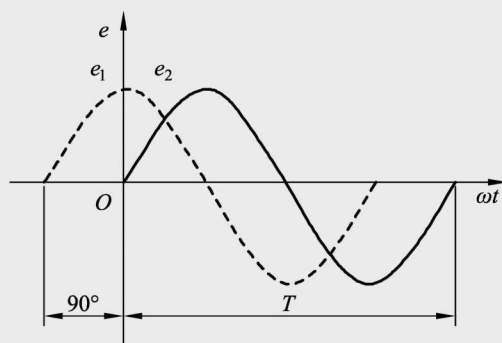


图 1.5 两个线圈中的电动势波形

当 $t=0$ 时, AX 线圈平面与中性面之间的夹角 $\varphi_1=0^\circ$, BY 线圈平面与中性面之间的夹角 $\varphi_2=90^\circ$ 。在任意时刻两个线圈的感应电动势分别为

$$e_1 = E_m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$e_2 = E_m \sin(\omega t + \varphi_2)$$

式中, $\omega t + \varphi_1$ 和 $\omega t + \varphi_2$ 是表示交流电变化进程的一个角度, 称为交流电的相位或相角, 它决定了交流电在某一瞬时所处的状态。 $t=0$ 时的相位叫初相位或初相。它是交流电在计时起始时刻的电角度, 反映了交流电的初始值。例如, AX , BY 线圈的初相分别是 $\varphi_1=0^\circ$, $\varphi_2=90^\circ$ 。在 $t=0$ 时, 两个线圈的电动势分别为 $e_1=0$, $e_2=E_m$ 。两个频率相同的交流电的相位之差叫相位差。令上述 e_1 的初相位 $\varphi_1=0^\circ$, e_2 的初相位 $\varphi_2=90^\circ$, 则两个电动势的相位差为

$$\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_2) - (\omega t + \varphi_1) = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (1.5)$$

可见, 相位差就是两个电动势的初相差。

从如图 1.6 所示可以看到, 初相分别为 φ_1 和 φ_2 的频率相同的两个电动势的同向最大值, 不能在同一时刻出现。就是说 e_2 比 e_1 超前 φ 角度达到最大值, 或者说 e_1 比 e_2 滞后 φ 角度达到最大值。

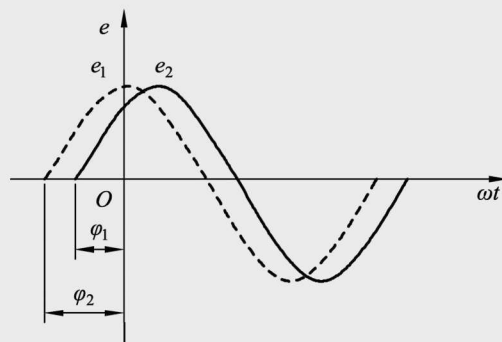


图 1.6 相位差

综上所述, 一个交流电变化的快慢用频率表示; 其变化的幅度, 用最大值表示; 其变化的起点用初相表示。

如果交流电的频率、最大值、初相确定后，就可以准确确定交流电随时间变化的情况。因此，频率、最大值和初相称为交流电的三要素。

三、正弦交流电的表示法

正弦交流电的表示方法有三角函数式法和正弦曲线法两种。它们能真实地反映正弦交流电的瞬时值随时间的变化规律，同时也能完整地反映出交流电的三要素。

1. 三角函数式法

正弦交流电的电动势、电压、电流的三角函数式为

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$$

若知道了交流电的频率、最大值和初相，就能写出三角函数式，用它可以求出任一时刻的瞬时值。

2. 正弦曲线法-波形法

正弦曲线法就是利用三角函数式相对应的正弦曲线，来表示正弦交流电的方法。

在图 1.7 中，横坐标表示时间 t 或者角度 ωt ，纵坐标表示随时间变化的电动势瞬时值。图中正弦曲线反映出正弦交流电的初相 $\varphi=0$ ， e 的最大值 E_m ，周期 T 以及任一时刻的电动势瞬时值。这种图也叫作波形图。

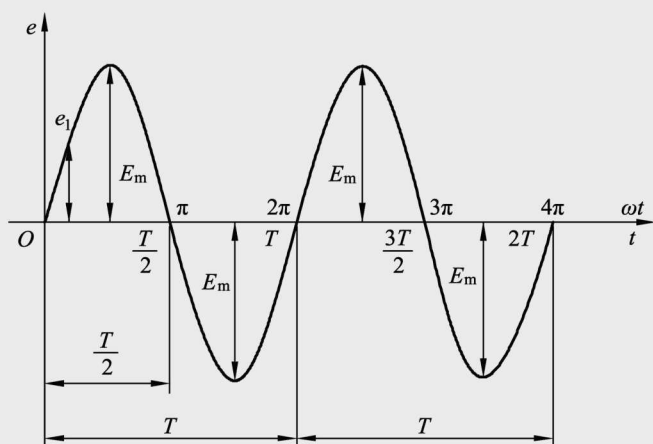


图 1.7 正弦曲线表示方法

四、单相交流电路

在直流电路中，电路的参数只有电阻 R 。而在交流电路中，电路的参数除了

电阻 R 以外, 还有电感 L 和电容 C 。它们不仅对电流有影响, 而且还影响了电压与电流的相位关系。因此, 研究交流电路时, 在确定电路中数量关系的同时, 必须考虑电流与电压的相位关系, 这是交流电路与直流电路的主要区别。本节只简单介绍纯电阻、纯电感、纯电容电路。

1. 纯电阻电路

纯电阻电路是只有电阻而没有电感、电容的交流电路, 如白炽灯、电烙铁、电阻炉组成的交流电路都可以近似看成是纯电阻电路, 如图 1.8 所示。在这种电路中对电流起阻碍作用的主要是负载电阻。

加在电阻两端的正弦交流电压为 u , 在电路中产生了交流电流 i , 在纯电阻电路中, 电压和电流瞬时值之间的关系, 符合欧姆定律, 即

$$i = u / R \quad (1.6)$$

由于电阻值不随时间变化, 则电流与电压的变化是一致的。就是说, 电压为最大值时, 电流也同时达到最大值; 电压变化到零时, 电流也变化到零, 如图 1.9 所示。纯电阻电路中, 电流与电压的这种关系称为“同相”。

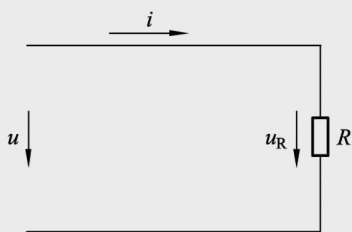


图 1.8 纯电阻电路

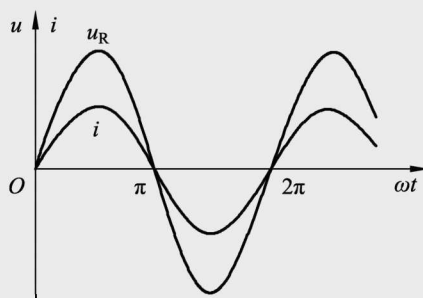


图 1.9 纯电阻电路的波形图

通过电阻的电流有效值为

$$I = U / R \quad (1.7)$$

在纯电阻电路中, 电流通过电阻所做的功与直流电路的计算方法相同, 即

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1.8)$$

2. 纯电感电路

纯电感电路是只有电感而没有电阻和电容的电路, 如由电阻很小的电感线圈组成的交流电路, 都可近似看成是纯电感电路, 如图 1.10 所示。

在如图 1.11 所示的纯电感电路中, 如果线圈两端加上正弦交流电压, 则通过线圈的电流 i 也要按正弦规律变化。由于线圈中电流发生变化, 在线圈中就产生自感电动势, 它必然阻碍线圈电流变化。经过理论分析证明, 由于线圈中自感电动势的存在, 使电流达到最大值的时间, 要比电压滞后 90° , 即 $1/4$ 周期。也就是

说,在纯电感电路中,虽然电压和电流都按正弦规律变化,但两者不是同相的,如图 1.11 所示,正弦电流比线圈两端正弦电压滞后 90° ,或者说,电压超前电流 90° 。

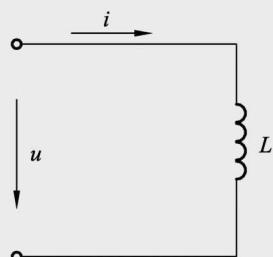


图 1.10 纯电感电路

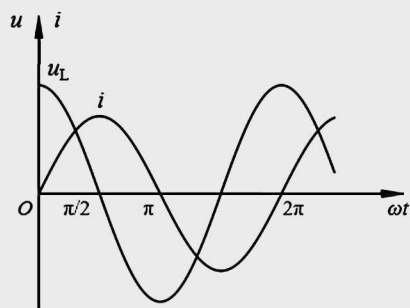


图 1.11 纯电感电路的波形图

理论证明,纯电感电路中线圈端电压的有效值 U ,与线圈通过电流的有效值之间的关系是

$$I = U / \omega L = U / X_L \quad (1.9)$$

ωL 是电感线圈对频率为 ω 的交流电所呈现的阻力,称为感抗,用 X_L 表示,即

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (1.10)$$

式中, X_L ——感抗 (Ω);

f ——频率 (Hz);

L ——电感 (H)。

感抗是用来表示电感线圈对交流电阻碍作用的物理量。感抗的大小,取决于通过线圈电流的频率和线圈的电感量。对于具有某一电感量的线圈而言,频率越高,感抗越大,通过的电流越小;反之,感抗越小,通过的电流越大。收音机中的高频扼流圈不让高频电流通过,只让低频电流通过,就是这个道理。在直流电路中,由于频率为零,故线圈的感抗也为零,线圈的电阻很小,可以把线圈看成是短路的。

3. 纯电容电路

电容器是由两个金属板中间隔着不同的介质(云母、绝缘纸等)组成的。它是存放电荷的容器。电容器中的两个金属板叫电容器的两个极板。

如果把电容器的两个极板分别与直流电路两端连接,如图 1.12 所示,则两极板间有电压,在极板间建立了电场。在电场力作用下,驱使自由电子运动,使两个极板分别带上数量相等符号相反的电荷。与电源正极相连的极板带正电荷,与电源负极相连的极板带负电荷。实验证明,极板上存有电

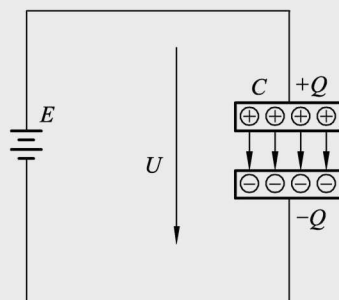


图 1.12 电容器接入电源

荷 Q 越多, 则极板间的电压 U 越高, 二者成正比。因此, 将电容器的电量 Q 与极板间电压的比值叫作电容器的电容量, 简称电容, 用字母 C 表示, 即

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1.11)$$

式中, Q ——上、下任意极板上的电量 (C);

U ——两极板间的电压 (V);

C ——电容量 (F)。

当电容器极板间电压为 1V, 极板上电量为 1C 时, 电容器的电容量为 1F, 在实际应用中, 由于法拉单位过大, 所以经常使用微法 (μm) 和皮法 (pF) 作为电容的单位。

电容器在电工和电子技术中应用广泛。如在电力系统中用它改善系统的功率因数, 在电子技术中用它进行滤波、耦合、隔直、旁路、选频等。在这里只简单介绍电容在交流电路中的作用。

纯电容电路是只有电容而没有电阻、电感的电路, 如电介质损耗很小, 绝缘电阻很大的电容器组成的交流电路, 可近似看成纯电容电路。

在如图 1.13 所示的纯电容电路中, 电容器接上交流电源。在电压升高的过程中, 电容器充电, 在电压降低的过程中, 电容器放电。由于电容器端电压按正弦规律变化, 致使电容器不断地进行充电、放电, 于是在电路中形成按正弦规律变化的电流。理论分析表明: 电路中电流达到同方向最大值的时间, 比电容器的端电压超前 90° , 即提前 $1/4$ 周期。也就是说在纯电容电路中, 虽然电流与电压都按正弦规律变化, 但两者的相位不同, 如图 1.14 所示, 纯电容电路中的电流超前电压 90° 。

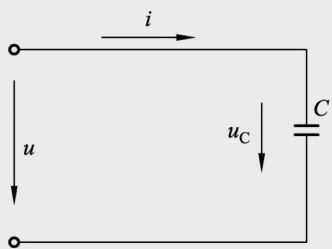


图 1.13 纯电容电路

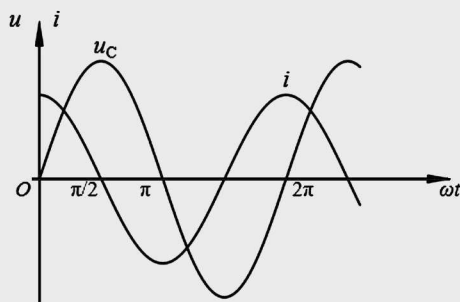


图 1.14 纯电容电路的波形图

在纯电容电路中, 电容两端电压的有效值 U 与电路电流有效值 I 之间的关系是

$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{X_C} \quad (1.12)$$

$1/\omega C$ 是电容对频率为 ω 的交流电所呈现的阻力, 称为容抗, 用 X_C 表示, 即

$$X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC \quad (1.13)$$

容抗是用来表示电容器对电流阻碍作用大小的一个物理量，单位是欧姆，用 Ω 表示。容抗的大小与频率及电容量成反比。当电容器的容量一定时，频率越高，容抗越小，电流越大；反之，频率越低，容抗越大，电流越小。在直流电路中，由于电流频率为零，因此，容抗为无限大。这表明，电容器在直流电路中相当于开路。但在交流电路中，随着电流频率的增加，容抗逐渐减小。因此，电容器在交流电路中相当于通路。这就是电容器隔断直流、通过交流的原理。

五、三相交流电路

在单相交流电路的电源电路上有两根输出线，而且电源只有一个交变电动势。如果在交流电路中三个电动势同时作用，每个电动势大小相等，频率相同，但初相不同，则称这种电路为三相制交流电路。其中，每个电路称为三相制电路的一相。

三相制电路应用广泛，其电源是三相发电机。和单相交流电相比，三相交流电具有以下优点：

- (1) 三相发电机比尺寸相同的单相发电机的输出功率大。
- (2) 三相发电机的结构和制造与单相发电机相比并不复杂，且使用方便，维修简单，运转时振动也很小。
- (3) 在条件相同、输送功率相同的情况下，三相输电线比单相输电线可节约25%左右的线材。

1. 三相电动势的产生

三相交流电是由三相发电机产生的，如图1.15所示是三相发电机的结构示意图。它由定子和转子组成。在定子上嵌入三个绕组，每个绕组叫一相，合称三相绕组。绕组的一端分别用 U_1, V_1, W_1 表示，叫作绕组的始端，另一端分别用 U_2, V_2, W_2 表示，叫绕组的末端。三相绕组始端或末端之间的空间角为 120° 。转子为电磁铁，磁感应强度沿转子表面按正弦规律分布。

当转子以匀角速度 ω 逆时针方向旋转时，在三相绕组中分别感应出振幅相等，频率相同，相位互差 120° 的三个感应电动势，这三相电动势称为对称三相电动势。三个绕组中的电动势分别为

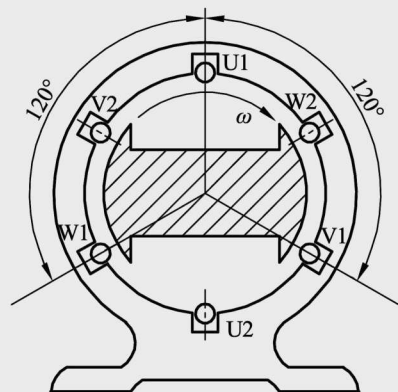


图 1.15 三相交流发电机结构示意图